

INTERAKSI ANTARA KARAKTERISTIK ALIRAN DAN MATERIAL DASAR PADA PROSES PENGGERUSAN SUNGAI SUNGAI COMAL PEMALANG, JAWA TENGAH

Yamuna Jiwaningrat M.
yamuna.jiwaningrat.m@mail.ugm.ac.id

Suprpto Dibyosaputro
praptodibyo@gmail.com

Abstract

Comal River is one of dynamic stream in the Java Island with intensively develop its body. Which one processes that occurred in this river is scouring processes, that is causing bridge of Comal river been broken few years ago. Aim of this research is: to study interaction between river flow velocity with bed material in scouring dynamic processes, and this distribution of river scouring in Main Stream of Comal River at Middle Part, Pemalang. Data used in this research is a result of direct fieldwork measurement, which are including: water flow was measured by current meter, bed material sample was collected by pebble count method with zig-zag pathways, and morphology was measured by abney level and measuring tape. This field measurement have been done in certain location that been determined with purposive sampling before. Analysis of Hjulstroms Curve showed specific variation of interaction in all place at this river. The 7th location is most sensitive place to scour development in this river, because its has high average velocity at 233 cm/s with small average grain at 36,1 mm.

Keywords: scouring processes, water flow, bed material, Hjulstroms Curve.

Abstrak

Sungai Comal merupakan salah satu sungai dinamik di Pulau Jawa, dan sangat intensif berkembang. Salah satu proses yang terjadi di sungai comal adalah proses penggerusan sungai yang telah mengakibatkan ambruknya Jembatan Comal dewasa ini. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari interaksi antara aliran sungai dengan material dasar sungai dalam dinamika proses penggerusan sungai, dan persebarannya di Sungai Comal, Pemalang. Data didapatkan melalui pengukuran langsung di lapangan meliputi: pengukuran aliran dengan *current meter*, sampel material dasar dengan metode *pebble count* dengan jalur zig-zag, dan pengukuran morfologi menggunakan alat bantu *abney level* dan meteran. Pengukuran dilakukan pada lokasi penelitian yang telah ditentukan dengan metode *purposive sampling*. Berdasarkan analisis Kurva Hjulstrom menunjukkan variasi interaksi yang spesifik di setiap lokasi. Lokasi penelitian ke-7 merupakan lokasi yang paling rentan terhadap penggerusan karena memiliki kecepatan rerata tinggi sebesar 233 cm/detik dengan material yang kecil sebesar 36,1 mm.

Kata Kunci: proses penggerusan, aliran, material dasar, Kurva Hjulstrom

PENDAHULUAN

Sungai merupakan salah satu bentukan alami di permukaan bumi yang terbentuk dari akumulasi aliran air yang membentuk saluran terbuka dan mengalir dari tempat yang tinggi menuju tempat yang lebih rendah, dari daratan menuju lautan (Leopold dkk., 1969; Zheng dkk., 2013). Sungai secara ekologis memiliki fungsi dan manfaat bagi kehidupan di alam. Fungsi dan manfaat yang didapatkan antara lain: sebagai sumber air, sumber nutrisi dan wadah kehidupan untuk berbagai makhluk hidup. Karakteristik dan proses perkembangan sungai dapat terlihat dari keanekaragaman bentuk dan tingkahlakunya di alam (Charlton, 2008).

Dinamika proses perkembangan sungai merupakan hasil kerja antara aliran sungai dengan material dasar sungai yang mengontrol mekanisme bekerja di sungai tersebut (Thorne, 1998, dan Charlton, 2008). Dinamika yang dapat terjadi di sungai salah satunya adalah dinamika penggerusan alur sungai. Eilrtsen dan Hansen (2007) mendefinisikan gerusan (*scour*) sungai merupakan depresi pada badan sungai yang terbentuk akibat proses erosi pada saluran fluvial dan hasil dari perubahan bentuk pada kondisi hidrologi tertentu.

Kurva Hjulstrom salah satu analisis yang dapat dilakukan untuk mengetahui proses penggerusan sungai. Kurva tersebut akan menunjukkan kecepatan erosi pada suatu penampang tertentu. Kecepatan erosi (*Erosion Velocity*) adalah kecepatan terendah aliran sungai yang mampu mengangkut ukuran butir tertentu pada dasar sungai. Kecepatan erosi rendah lebih dapat mengangkut partikel pasir dari partikel berukuran kerikil (Morisawa, 1968).

Dampak penggerusan sungai terhadap kehidupan manusia antara lain:

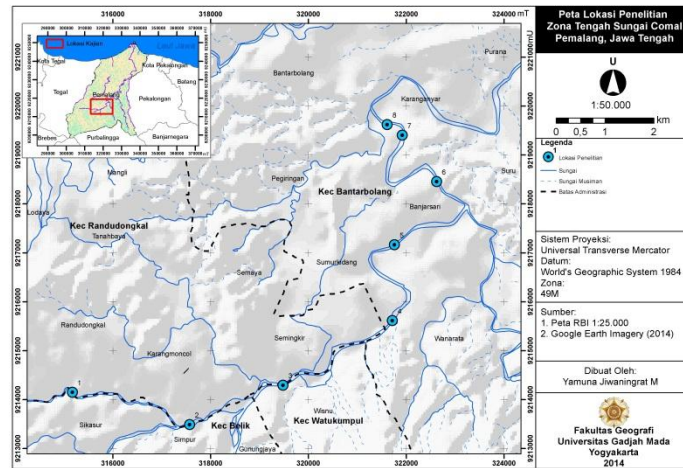
penyebab rusaknya infrastruktur seperti: jembatan dan tanggul (*dyke*) di tepi sungai. Kejadian lain yang pernah terjadi akibat proses ini yaitu beberapa bagian rumah yang terletak di tepian sungai runtuh akibat tebing sungai tergerus.

Sungai Comal merupakan salah satu sungai yang terletak di Kabupaten Pemalang, Jawa Tengah, yang mengalir dari hulu Gunungapi Slamet di sisi selatan, dan hilir di pantai utara Kabupaten Pemalang. Pemilihan zona tengah sebagai daerah kajian disebabkan oleh zona tengah merupakan peralihan antara proses erosi di hulu dan proses sedimentasi di hilir dan juga terlihat mengalami perkembangan sungai meander yang intensif. Selain itu, jembatan comal yang terletak di jalur pantai utara yang melewati jembatan comal mengalami ambruk akibat proses penggerusan ini.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari interaksi yang terjadi antara aliran sungai dengan material dasar sungai dalam dinamika proses penggerusan sungai dan persebarannya di Zona Tengah Sungai Utama Comal ini.

METODE PENELITIAN

Daerah penelitian dilakukan pada Zona Tengah Sungai utama Comal, Pemalang, Jawa Tengah. Pemilihan Daerah Penelitian didasarkan dengan keadaan Sungai Comal yang sangat berkembang, terbukti dari keadaan bentuk alur sungai yang bermeander disertai bekas-bekas alur sungai disekitar badan sungai. Pemilihan lokasi penggal sungai dilakukan dengan cara pengambilan sampel untuk mewakili populasi dari penelitian ini. Pemilihan lokasi penggal sungai dilakukan dengan metode *purposive sampling* yakni dengan memilih titik lokasi penelitian pada penggal sungai setiap belokan sungai yang telah ditentukan. Berdasarkan metode tersebut



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di Zona Tengah Sungai Comal, Pemalang.

pada Zona tengah ini didapatkan 8 lokasi yang kemudian akan dilakukan pengukuran pada masing-masing lokasinya (**Gambar 1**).

Data yang digunakan dalam penelitian ini sebagian besar merupakan data primer, yaitu data yang didapatkan langsung dari hasil lapangan. Data primer tersebut meliputi: Data morfologi dan morfometri, data aliran, dan data material dasar sungai. pada setiap lokasi penelitian yang telah ditentukan.

Pengukuran lapangan untuk mendapatkan data-data tersebut dilakukan dengan metode pengukuran meliputi: Pengukuran aliran sungai menggunakan alat bantu *current meter* yang diukur pada kedalaman tertentu pada segmen sungai yang ditentukan; Pengukuran butir material dasar digunakan metode *pebble count* dengan jalur pengambilan zigzag dan pengambilan sampel sebanyak 100 butir setiap lokasi penelitiannya; serta pengukuran morfologi dan morfometri dilakukan dengan alat bantu yaitu laser ace, abney level dan pita ukur. pengukuran tersebut dilakukan pada lokasi-lokasi penelitian yang telah ditentukan. Pengukuran dengan metode-metode tersebut akan memberikan gambaran secara keruangan kondisi proses penggerusan sungai di Sungai Comal.

Pengolahan data dilakukan dengan bantuan software Arcgis 10.2, dan Microsoft Excel. Arcgis 10.2 digunakan

untuk mendapatkan peta persebaran pengukuran. Microsoft excel digunakan untuk pengolahan angka dan grafik meliputi: perhitungan debit, pembuatan penampang melintang dan kurva hjulstrom yang digunakan untuk analisis hasil penelitian ini.

Analisis yang digunakan adalah analisis deskriptif dan grafis. Analisis deskriptif digunakan untuk menjelaskan keadaan geomorfologi fluvial di zona tengah ini. Analisis deskriptif yaitu penjabaran hasil penelitian dan faktor-faktor yang memiliki pengaruh terhadap penggerusan. Faktor yang mempengaruhi dinamika penggerusan sungai antara lain: karakteristik aliran, karakteristik material dasar, dan karakteristik morfologi sungai sesuai dengan penggal sungai yang dilakukan pengukuran

Analisis grafis menunjukkan kondisi Analisis grafis adalah analisis terhadap variabel yang disajikan dalam bentuk grafik, tabel atau diagram. Penyajian secara grafis akan memudahkan pembaca dalam memahami dan mengetahui isi dari hasil yang disampaikan. penyajian grafis akan lebih mudah diterima secara visual. Kurva Hjulstrom akan disajikan secara grafis sehingga dapat menggambarkan secara visual kondisi penggerusan di Sungai Comal ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan antara karakteristik aliran dengan material dasar merupakan faktor yang mengontrol keadaan penggerusan sungai. Hubungan kecepatan aliran dengan material dasar di Zona Tengah Sungai Comal dapat dijelaskan sebagai berikut:

Karakteristik aliran

Kondisi Aliran air pada zona tengah akan dapat ditunjukkan dari nilai dan distribusi kecepatan aliran, dan debit aliran pada setiap lokasi penelitian. Karakteristik aliran tersebut merupakan faktor utama terjadinya proses penggerusan yang terjadi di zona tengah ini. Kondisi Aliran dapat disajikan pada **Tabel 1**.

yang membuat sungai menyempit dan kecepatan yang tinggi hanya terakumulasi pada dekat batuan tersebut saja.

Berdasarkan nilai debit hasil pengukuran dapat dijelaskan bahwa dari hulu ke hilir memiliki nilai debit yang cenderung meningkat ke arah hilir. Hal tersebut dikarenakan masuknya sungai-sungai lain ke arah hilir yang menambah input air ke dalam sungai utama. Selain itu faktor lain juga dapat berupa aliran air tanah yang masuk ke sungai, karena material dasar sekitar merupakan material Gunungapi Slamet yang memiliki airtanah yang tinggi.

Akan tetapi terdapat anomali debit pada lokasi ke-5 dan ke-7. Lokasi ke-5 memiliki kondisi aliran yang menurun karena penampang melintang yang sempit

Tabel 1 Data morfologi dan aliran sungai setiap lokasi di Zona Tengah Sungai Comal, Pemalang

Lokasi	Jarak titik ke hulu (m)	Kedalaman Rerata (cm)	Kedalaman maksimum (cm)	Lebar penampang basah (m)	Kecepatan Aliran Rerata (m/detik)	Kecepatan Aliran Maksimum (m/detik)	Debit (m ³ /detik)
1	20,32	57,3	93,4	18	1,775	2,7	10,89
2	22,89	36,3	54,0	28	1,801	3,71	18,01
3	25,52	58,9	76,0	41,5	1,060	2,87	22,25
4	28,01	47,1	57,0	46	1,336	2,67	28,32
5	30,22	33,7	87,0	30	1,126	3,85	11,71
6	32,63	40,0	72,0	69	1,186	2,6	27,39
7	34,71	42,5	66,0	54	2,333	4,22	46,53
8	35,73	59,2	90,0	48	1,349	2,72	40,50

Berdasarkan kecepatan dan debit aliran sungai, lokasi ke -7 merupakan lokasi yang memiliki kecepatan tertinggi hingga mencapai 4,22 m/detik dan debit mencapai 46,535 m³/detik. Hal tersebut mengindikasikan bahwa lokasi ini akan rentan terhadap proses erosi dasar sungai.

Kondisi aliran air terendah terdapat pada lokasi ke-5 dengan kecepatan aliran rerata terendah hanya mencapai 1,126 m/detik. Akan tetapi kecepatan tertinggi pada lokasi ini mencapai 3,85 m/detik. Hal tersebut menunjukkan bahwa persebaran kecepatan di lokasi ini tidak merata dikarenakan pengaruh struktur batuan

akibat pengaruh struktur. Lokasi ke-7 terjadi penambahan akibat terjadi hujan intensitas kecil pada waktu sebelum pengukuran, sehingga menghasilkan kondisi debit yang meningkat walaupun tidak signifikan.

Karakteristik Material Dasar Sungai

Material Dasar sungai menggambarkan proses penggerusan maupun pengendapan pada setiap lokasi sungai. Material dasar sangat mempengaruhi resistensi badan sungai terhadap tenaga aliran air yang dapat menggerus tubuh sungai. Semakin besar

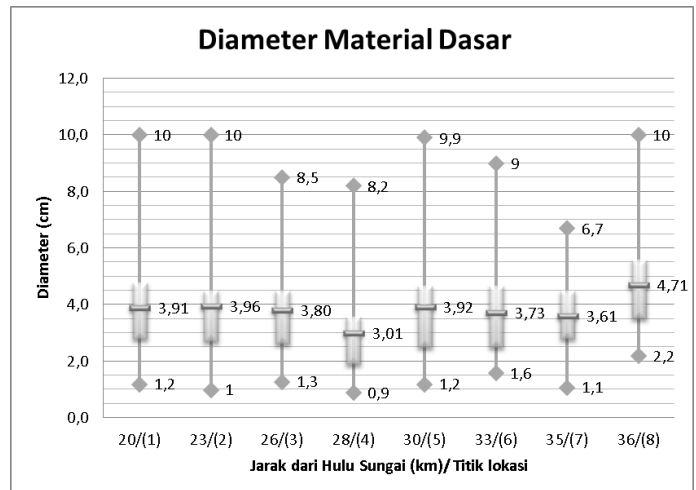
ukuran batuan yang ditemui di penampang sungai tertentu maka semakin tinggi resistensi tubuh sungai tersebut terhadap proses penggerusan.

Diameter ukuran butir dari 100 butir setiap lokasi penelitian memperlihatkan kondisi material rerata terbesar terletak pada lokasi ke-8 dengan besar butir mencapai 4,71 cm atau tergolong kerikil sangat kasar dan material yang terkecil terletak pada lokasi ke-4 dengan besar butir 3,01 cm atau tergolong kerikil kasar. Hal tersebut mengindikasikan bahwa penggal ke-8 lebih susah untuk tergerus karena material yang cenderung lebih besar. Lokasi ke-4 memiliki resistensi penampang yang lebih rendah dibandingkan lokasi lainnya. Grafik diameter material dasar yang disajikan dalam *stock diagram* (**Gambar 2**) menunjukkan kecenderungan diameter dari hulu hingga hilir di zona tengah.

Gambaran grafik secara keseluruhan memiliki kecenderungan menurun ke arah hilir. Penurunan tersebut terlihat pada lokasi dari kedua hingga keempat, dan dari lokasi kelima hingga ketujuh. Kondisi tersebut memperkuat dugaan bahwa dari hulu menuju ke hilir selalu diikuti dengan penurunan diameter butir. Akan tetapi, terjadi kenaikan di beberapa titik seperti titik pertama menuju kedua dengan rerata naik 0,5 cm, titik keempat menuju ke 5 dengan rerata diameter naik hingga 0,91 cm, dan pada titik ke tujuh menuju ke delapan mengalami kenaikan terbesar hingga mencapai 1,10 cm.

Hubungan Antara Kecepatan aliran dengan Material Dasar

Material dasar mampu terangkut atau tererosi pada keadaan kecepatan aliran sungai tertentu. Semakin tinggi kecepatan aliran sungai pada suatu penampang sungai maka semakin mudah material dasar terangkut dan tererosi. Oleh sebab itu, gambaran hubungan antara material dasar dan kecepatan aliran akan



Gambar 2 Grafik ukuran diameter material dasar sungai setiap lokasi di Zona Tengah Sungai Utama Comal, Pemalang

dapat menjelaskan kondisi penggerusan sungai pada setiap penggal sungai yang diteliti. Hubungan tersebut dapat ditunjukkan dengan kurva *Hjulstrom* yang menggambarkan zonasi proses yang terjadi pada penampang sungai tersebut. Zonasi proses tersebut meliputi: zona erosi, zona transportasi dan zona deposisi. Hubungan antara material dasar dan kecepatan aliran di Sungai Comal bagian tengah disajikan dengan kurva *Hjulstrom* pada **Gambar 3**.

Hasil hubungan tersebut menjelaskan bahwa pada Zona Tengah Sungai Comal, memiliki karakteristik proses yang beragam pada setiap lokasi yang diteliti. Lokasi 1, 2, dan 4 merupakan zona transportasi. Sedangkan, lokasi 3, 5, 6, dan 8 merupakan zona deposisi. Lokasi ke-7 merupakan zona erosi. Hasil tersebut menunjukkan terjadinya perbedaan proses di setiap penggal sungai di Sungai Comal bagian tengah ini. Proses-proses tersebut terjadi bergantung pada lokasi tempat sungai itu dikaji. Lokasi yang terletak jauh terhadap kelokan sungai memiliki kecenderungan proses transportasi dan deposisi, sedangkan pada lokasi yang dekat dengan lengkung sungai cenderung erosi seperti pada lokasi ke-7.

Zona deposisi terdapat pada empat lokasi penelitian di zona tengah ini. Hal tersebut disebabkan oleh besar butir

material merata di lokasi tersebut tidak mampu terangkut ataupun tererosi oleh kecepatan aliran yang terukur. Lokasi ke-8 merupakan lokasi dengan diameter merata terbesar di zona tengah sehingga membutuhkan kecepatan aliran yang besar untuk mampu menggerus penampang sungai tersebut. Selain itu, lokasinya yang terletak pada daerah yang mendekati hilir dengan kemiringan sungai cukup rendah membuat lokasi ini lebih mengarah pada zona deposisi.

Lokasi ke-3, 5, dan 6 memiliki kondisi kecepatan merata yang tergolong rendah saat diukur, yaitu kurang dari 120cm/s untuk keadaan material yang berupa kerikil sangat kasar. Sehingga kecepatan aliran tidak mampu untuk mengangkut material tersebut. Akan tetapi, hal tersebut berlaku pada kondisi merata, baik besar butir maupun kecepatan aliran. Lokasi ke-5 memiliki bagian sungai yang tererosi kuat terlihat dari bentuk dan kecepatan aliran pada daerah sekitar struktur batuan. Kecepatan aliran di sekitar areal tersebut dapat mencapai 385cm/s. Akan tetapi jika direrata secara keseluruhan maka kecepatan menjadi rendah. Hal tersebut menjelaskan bahwa hubungan dengan kurva ini hanya menggambarkan secara keseluruhan penampang tidak per segmen sungai. **Tabel 2** dan **Tabel 3** menunjukkan Kriteria-kriteria kecepatan dan besar material dasar yang digunakan di Zona Tengah Sungai Comal dengan metode klasifikasi Sturgess.

Tabel 2 Kriteria kecepatan aliran merata di Zona Tengah Sungai Comal, Pemalang

Kriteria	Kecepatan Aliran Rerata (cm/s)
Rendah	106-131
Cukup Rendah	132-157
Sedang	158-182
Cukup Tinggi	183-208
Tinggi	208-233
Sangat tinggi	>233

(Sumber: Hasil pengolahan data ,2015)

Lokasi ke-1, 2, dan 4 termasuk kedalam zona proses transportasi. Zona proses transportasi merupakan zona lokasi dengan keadaan material dasar sudah mampu terangkut oleh kecepatan aliran tertentu. Berdasarkan kurva Hjulstrom zona ini terletak diatas ambang jatuh material pada garis *fall velocity* atau kecepatan jatuh. Zona transportasi merupakan zona khusus yang biasanya terletak pada zona tengah pada sebagian besar sungai.

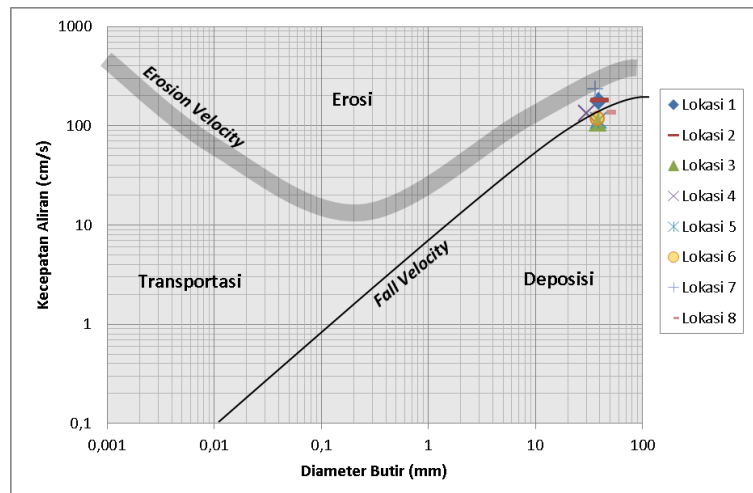
Tabel 3 Kriteria diameter butir merata di Zona Tengah Sungai Comal, Pemalang

Kriteria	Diameter Butir Rerata (mm)
Kecil	30,1-33,5
Cukup Kecil	33,6-36,9
Sedang	37,0-40,3
Cukup Besar	40,4-43,7
Besar	43,8-47,1
Sangat Besar	> 47,1

(Sumber: Hasil pengolahan data ,2015)

Proses transportasi terjadi akibat pada suatu penampang sungai memiliki kecepatan yang sedang sehingga material dapat bergerak turun menuju hilir, dan material tersebut akan terendapkan ketika kecepatan sudah mulai turun pada lokasi yang tidak jauh dari tempat awal transportasi. Ketika kecepatan tersebut kembali naik maka material tersebut dapat terangkut kembali turun, dan terjadi berulang-ulang hingga zona deposisi di bagian hilir.

Kecepatan aliran yang dapat mentransportasikan material di zona tengah ini berkisar pada kecepatan 133 cm/detik hingga 180 cm/detik. Lokasi 1 dan 2 memiliki kondisi besar butir material dasar berukuran sedang mencapai >39 mm atau tergolong jenis kerikil sangat kasar. Akan tetapi memiliki kondisi kecepatan aliran yang sedang yaitu 177,51 cm/detik pada lokasi 1 dan 180,15 cm/detik. Kecepatan aliran tersebut mampu mengangkut material dasar akan tetapi belum sampai



Gambar 3 Kurva Hjulstrom di setiap lokasi penelitian pada Zona Tengah Sungai Comal, Pemalang

menggerus secara berkala. Lokasi ke 4 memiliki keadaan material yang berukuran rendah di zona tengah yaitu 30,09 mm atau tergolong kerikil kasar sehingga dengan kecepatan hanya 133,61 cm/s saja sudah mampu mengangkut material dengan ukuran rerata di lokasi tersebut.

Lokasi ke-7 merupakan satu-satunya lokasi yang terletak pada zona proses erosi. Lokasinya yang terletak dekat dengan lengkung sungai membuat kecepatan aliran menjadi bertambah tinggi hingga mencapai 4,22 m/s. Berdasarkan Kurva Hjulstrom lokasi ke-7 terletak pada garis ambang erosi yaitu pada garis *erosion velocity* atau kecepatan erosi. Keadaan tersebut menunjukkan kecepatan rerata di penampang tersebut sudah mampu melakukan proses penggerusan secara terus menerus. Material dasar yang terdapat pada lokasi ini secara bertahap selalu tergerus dan kemudian akan mengendap pada lokasi lain atau pada lengkung dalam sungai pada penampang tersebut. Ukuran diameter butir rerata yang cukup rendah pada zona tengah ini yaitu 36,7 mm mengindikasikan bahwa lokasi tersebut lebih rentan terhadap penggerusan.

Kurva Hjulstrom dengan jelas menggambarkan bahwa terjadi beragam proses yang terjadi di Zona Tengah Sungai Comal ini. Hal tersebut didasarkan oleh hubungan material dasar dan kecepatan

aliran di lokasi ini. Proses penggerusan yang terjadi tiap-tiap lokasi di zona tengah ini secara spesifik akan lebih besar terjadi pada daerah yang terletak di zona transportasi dan zona erosi atau di atas ambang kecepatan jatuh. Kecepatan jatuh menunjukkan kondisi material dasar yang sudah susah untuk terangkut dan dalam posisi cenderung menetap (*settling*). Material dasar dan kecepatan yang melewati batas ambang tersebut, maka material dasar masih dapat terangkut dan tererosi, sehingga masih memungkinkan untuk tetap tergerus.

Ambang kecepatan erosi merupakan batas yang menunjukkan suatu lokasi tersebut sudah mulai terjadi proses erosi yang intensif. Jika suatu hubungan material dasar dan kecepatan dasar terletak pada batas ini, maka proses penggerusan akan intensif terjadi pada penampang sungai ini. Akan tetapi proses penggerusan yang terjadi tidak sebatas pada daerah dengan zona erosi dan transportasi saja. Lokasi dengan zona proses deposisi juga masih dapat mengalami penggerusan pada kondisi tertentu. **Gambar 4** menunjukkan sikap penggerusan sungai di kondisi ukuran butir minimum, rerata dan maksimum pada Kurva Hjulstrom, yang merupakan perbesaran dari **Gambar 3** yang disesuaikan dengan kondisi Sungai Coma bagian tengah ini

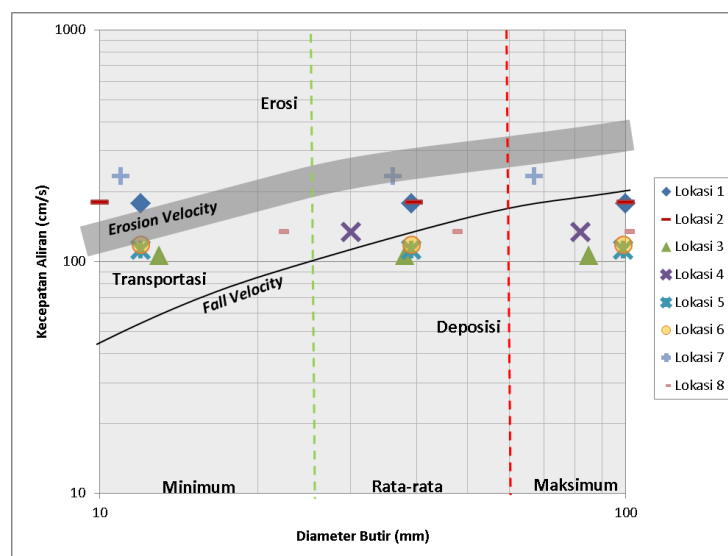
Kurva pada kondisi tersebut menjelaskan bahwa pada keadaan diameter minimum (9-22 mm) di setiap lokasi di zona tengah, hampir setiap lokasi terletak di atas ambang kecepatan jatuh, dan diantaranya sudah melewati ambang kecepatan erosi. Hal ini menunjukkan bahwa butir batuan pada ukuran minimum di setiap lokasi sudah terangkut hingga tererosi, pada kecepatan rerata yang sama. sehingga penggerusan sudah mulai terjadi pada kondisi tersebut. Lokasi 1, 2, 4 dan 7 pada kondisi ukuran material minimum sudah dapat secara intensif tergerus dan kemudian terangkut ke lokasi lain. Sedangkan pada lokasi 3, 5, 6, dan 8 terdapat pada posisi zona transportasi pada keadaan ukuran material minimum. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi ukuran minimum pada lokasi engan zona proses transportasi, material dasar sudah mulai dapat terangkut, walaupun tidak sampai terjadi penggerusan secara intensif.

Begitu pula sebaliknya, Kondisi ukuran material dasar dengan kondisi maksimum (67-100 mm) hampir setiap lokasi mengalami proses deposisi. Kondisi yang menunjukkan material dasar sudah dalam proses menetap (*settling*). Proses tersebut terjadi pada setiap lokasi kecuali pada lokasi ke-7 yang masuk kedalam zona transportasi pada kondisi ukuran

material maksimum. Hal ini menegaskan pada lokasi ke-7 masih mampu untuk memindahkan atau mengangkut material tersebut menuruni sungai walaupun pada kondisi ukuran material maksimum. Secara keseluruhan terlihat bahwa proses penggerusan terjadi pada setiap lokasi pada ukuran material minimum, dan mulai terjadi proses deposisi pada kondisi ukuran material maksimum.

Apabila terjadi peningkatan kecepatan aliran pada zona tengah ini akibat banjir ataupun input langsung dari hujan, maka pada setiap lokasi dapat terjadi penggerusan dan masuk kedalam zonasi proses erosi pada Kurva Hjulstrom. Musim penghujan akan terjadi peningkatan kecepatan aliran dan volume air sehingga lebih mampu untuk menggerus material dasar sungai yang terdapat di lokasi tertentu, kemudian terangkut sampai hilir. Kondisi kecepatan aliran yang dapat menggerus semua lokasi penelitian di zona tengah ini adalah pada kecepatan > 300 cm/s setiap lokasinya. Sehingga apabila banjir maupun input hujan dapat meningkatkan kecepatan aliran menjadi > 300cm/s maka akan terjadi penggerusan intensif pada setiap bagian di Zona Tengah Sungai Comal ini.

Kurva Hjulstrom tidak sepenuhnya dapat menggambarkan proses penggerusan



Gambar 4 Kurva Hjulstrom pada kondisi ukuran diameter minimum, rata-rata, maksimum di setiap lokasi di Zona Tengah Sungai Comal.

sungai pada zona tengah ini. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan-keterbatasan yang dimiliki metode ini. Keterbatasan tersebut akan mempengaruhi kerincian informasi yang didapat dalam menggambarkan proses yang terjadi zona tengah ini. Keterbatasan Kurva Hjulstrom ini antara lain: belum memperhatikan berat jenis batuan, dan tidak memperhatikan persebaran kecepatan aliran di suatu penampang sungai.

Berat jenis batuan merupakan salah satu parameter batuan yang penting dalam penggambaran proses sungai. Hal tersebut berkaitan dengan gaya gravitasi yang bekerja pada satu satuan ukuran butir material tersebut. Kurva ini, hanya menggambarkan diameter butir, sehingga tidak menggambarkan kondisi pengaruh batuan tersebut yang lebih mudah terendapkan apabila memiliki berat jenis yang lebih besar. Contoh, batuan andesit memiliki berat jenis yang tinggi dibandingkan batuan tuffan dengan berat jenis lebih kecil, akan tetapi apabila batuan andesit dan batuan tuffan memiliki kondisi diameter yang sama dan pada kondisi kecepatan aliran sama, maka pada kurva ini akan menempati zona proses yang sama. padahal batu andesit membutuhkan gaya yang lebih besar untuk dapat mengangkut batuan tersebut dibandingkan dengan batuan tuff yang ringan. hal ini jelas berpengaruh terhadap informasi yang didapatkan.

KESIMPULAN

Interaksi antara kecepatan aliran dan material dasar di Zona Tengah Sungai Utama Comal memiliki keragaman hasil dan proses yang tergambarkan melalui Kurva Hjulstrom. Berdasarkan Kurva Hjulstrom Zona Tengah Sungai Utama Comal memiliki Beberapa Zona proses yaitu: zona deposisi pada lokasi penelitian ke-3, 5, 6, dan 8, zona proses transportasi pada lokasi penelitian 1, 2, dan 4, dan zona erosi terdapat pada lokasi penelitian ke-7.

Masing-masing zona proses memiliki respon tertentu terhadap proses penggerusan sungai. Lokasi penelitian ke-7 berdasarkan hubungan kecepatan aliran dan material dasar, merupakan lokasi yang paling rentan terhadap penggerusan sungai.

DAFTAR PUSTAKA

- Charlton, R.2008. *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*. Routledge: USA
- Eilrtsen, R.S, dan L. Hansen .2007. Morphology of River Bed Scours on Delta Plain Revealed by Interferonic Sonar. *Geomorphology*, Vol: 94, hal: 58-68.
- Leopold, L.B., Wolman, M.G., Miller, J.P.1969. *Fluvial Processes in Geomorphology*. Eurasia Publishing House: New Delhi
- Morisawa, M.1968.*Stream: Their Dynamics and Morphology*.Mc Graw w-Hill inc: New York
- Thorne, C.R .1998. River Width Adjusment I: Processes and Mechanisms. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol: 124, hal: 881-902.
- Zheng, S., Wu, B., Thorne C.R., Simon A.2013. Morphological evolution of the North Fork Toutle River following the eruption of Mount St. Helens, Washington. *Geomorphology*, Vol: 208, hal: 102-116